

**Министерство образования и науки
Российской Федерации**

**ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»**

Новомосковский институт (филиал)

**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**Новомосковск
2013**

УДК 621.01
ББК 34.41
О 753

Рецензент:
кандидат технических наук, профессор кафедры АПП
Иванков В.И.
(НИ(филиал) ФГБОУ ВПО «РХТУ им. Д.И. Менделеева»)

Составители: Лобанов Н.Ф., Каменский М.Н.

О 753 Основы эксплуатационной надежности и технического обслуживания оборудования химических производств. Лабораторный практикум / ФГБОУ ВПО «РХТУ им. Д.И. Менделеева», Новомосковский институт (филиал); Сост.: Н.Ф. Лобанов, М.Н. Каменский – Новомосковск, 2013. – 52 с.

Лабораторный практикум включает в себя краткое изложение основ теории надёжности, лабораторные работы по дисциплине «Основы эксплуатационной надежности и технического обслуживания оборудования», порядок их выполнения и оформления, а также вопросы к защите работ.

Данное издание предназначено для студентов всех форм обучения специальности «Машины и аппараты химических производств» Новомосковского института РХТУ имени Д.И. Менделеева.

УДК 621.01
ББК 34.41

© Новомосковский институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И.Менделеева», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1.....	5
Лабораторная работа № 2.....	12
Лабораторная работа № 3.....	23
Лабораторная работа № 4.....	27
Лабораторная работа № 5.....	31
Лабораторная работа № 6.....	38
Лабораторная работа № 7.....	42
Литература	50

Введение

Лабораторный практикум предназначен для закрепления и углубления знаний в области надежности машин и аппаратов химических производств, изучения прикладной теории надежности и методов повышения ее уровня на стадиях конструирования и изготовления оборудования, освоения научных основ анализа состояния оборудования, поддержания его работоспособности путем проведения мероприятий по ремонту и обслуживанию.

В процессе выполнения работ у студента появляются возможности:

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования;
- осваивать и эксплуатировать новое оборудование, принимать участие в наладке, технических осмотрах, текущих ремонтах, проверке технического состояния оборудования и программных средств;
- изучать специальную научно-техническую информацию, анализировать отечественный и зарубежный опыт по инженерным методам повышения надежности и долговечности оборудования.

Лабораторная работа № 1
Оценка надёжности изделий. Определение количественных характеристик надёжности

Цель работы: приобретение навыков применения теории надёжности к решению практических задач.

Введение

С целью единообразного толкования понятий был разработан ГОСТ 27.002 «Надёжность в технике». В статистическом плане мерой надёжности является: интенсивность отказов, срок службы, вероятность безотказной работы, ремонтпригодность и т.д.

Надёжность характеризуется следующими состояниями и событиями:

Работоспособность – это состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции (функции назначения), сохраняя значения основных параметров в пределах установленных нормативно-технической документацией.

Исправность – это состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям установленным документацией (ГОСТ, ТУ, паспорт...). Исправность это понятие более широкое, чем работоспособность.

Неисправное состояние – это состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному требованию документации. Понятие неисправность тесно связано с понятием дефект.

Дефект – каждое конкретное несоответствие изделия или продукции требованиям документации.

Термин применяется:

- а) при техническом контроле на этапах производства;
- б) при ремонтах на стадии дефектации (дефектная ведомость).

Неисправное состояние объекта обязательно связано с наличием одного или более дефектов. Следует различать неисправности вызывающие и не вызывающие отказов.

Отказ – это событие, заключающееся в полной или частичной потере работоспособности.

По физической природе отказы могут быть вызваны:

- разрушением деталей или рабочих поверхностей (усталостное разрушение, износ, коррозия...);
- факторами не связанными с разрушением (отложение солей на стенках теплообменника, ослабление соединений, нарушение регулировки...).

По характеру отказы различают:

- внезапные (в результате поломки);
- постепенные (в результате процесса старения, деградаций...).

Постепенный отказ характеризуется наличием закономерного изменения какого-либо параметра объекта (за время предшествующее возникновению отказа). Это позволяет прогнозировать с определенной вероятностью временную границу, за которой следует отказ.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующее его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

В прикладном плане это ожидание нормального функционирования без отказов в течение достаточно большого срока службы (срок службы больше гарантийного срока эксплуатации).

Вывод: подобно качеству продукции надежность есть комплексное свойство объекта, включающее более простые свойства:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость.

Безотказность – это свойства объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой

наработки. При оценке безотказности плановые перерывы в работе не учитываются.

Наработка – продолжительность (время) или объем (по километрам, по циклам, по количеству продукции) работы объекта.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления *предельного* состояния при установленных системах технического обслуживания и ремонта. Для не восстанавливаемых изделий безотказность эквивалентна долговечности.

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение хранения и транспортировки. Этот показатель особенно важен для запчастей «стареющих» при хранении.

Ремонтпригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, путем проведения технических обслуживаний и ремонтов. Есть две стороны ремонтпригодности: 1) приспособленность к восстановлению; 2) возможность предупреждения отказов через обслуживание и профилактику. Ремонтпригодность изделия на 90% предопределяется и обеспечивается при разработке и изготовлении изделия.

Ремонтируемые объекты – это объекты, для которых проведение ремонтов предусмотрено нормативно-технической документацией.

Неремонтируемые объекты – это объекты, которые в случае отказов или повреждений не подлежат восстановлению и заменяются.

Надежность машин и аппаратов в значительной степени определяется уровнем развития техники, её долговечностью и экономичностью. Повышение надежности оборудования необходимо:

- для уменьшения затрат на ремонт и убытков от простоев;
- для обеспечения безопасности людей и экономичности процесса.

Вследствие влияния на характер и безопасность труда надежность машины имеет большое социальное значение. Таким образом, надеж-

ность характеризуется свойствами, которые проявляются в эксплуатации и позволяют судить о том, насколько изделие оправдывает надежды его изготовителей и потребителей.

Надёжность – комплексный показатель качества, не измеряемый напрямую. Характеристикой надежности будем называть количественное значение выбранного критерия надежности, к числу которых относятся:

- вероятность безотказной работы P_τ (ВБР) в течении определенного времени τ :

$$P_\tau = \frac{N_\tau}{N_0},$$

где N_τ – количество объектов, сохранивших работоспособность к моменту времени τ ;

N_0 – количество объектов, поставленных на испытания;

- вероятность отказов Q_τ :

$$Q_\tau = \frac{n_\tau}{N_0},$$

где n_τ – количество отказавших объектов за время τ ;

-средняя наработка изделия до первого отказа T_{cp} :

$$T_{cp} = \frac{\sum \tau_{cp} n_\tau}{\sum n_\tau}$$

- частота отказов $f_{\Delta\tau}$:

$$f_{\Delta\tau} = \frac{n_{\Delta\tau}}{N_0 \Delta\tau},$$

- интенсивность отказов $\lambda_{\Delta\tau}$:

$$\lambda_{\Delta\tau} = \frac{n_{\Delta\tau}}{N_{cp} \Delta\tau},$$

где N_{cp} – среднее число работоспособных элементов в рассматриваемый интервал времени $\Delta\tau$:

$$N_{cp} = \frac{N_{\tau 1} + N_{\tau 2}}{2},$$

где N_{t1} и N_{t2} – количество работоспособных элементов в начале и в конце интервала времени.

Из теории вероятности известно, что сумма вероятностей двух несовместимых событий равна единице. К этому типу событий относятся такие взаимоисключающие явления как нормальная работа без отказов (характерный параметр P_τ) и отказ (характерный параметр Q_τ). Отсюда следует важное соотношение параметров:

$$P_\tau + Q_\tau = 1$$

Выполнение работы

В данной лабораторной работе решается задача по расчету количественных характеристик надежности элементов по статистическим данным об их отказах, полученным в результате испытаний.

Исходные данные:

На испытание было поставлено 1000 однотипных элементов. Число отказов n_τ фиксировалось по интервалам времени испытаний $\Delta\tau$, равным 500 часов. Данные об отказах по вариантам приведены в таблице 1.1.

Требуется выполнить следующее:

1. Определить вероятность безотказной работы, вероятность отказов, частоту отказов и интенсивность отказов по интервалам времени и результаты представить в следующем виде:

$\Delta\tau$	$n_{\Delta\tau}$	$\Sigma n_{\Delta\tau}$	N_τ	N_{cp}	P_τ	Q_τ	$\lambda_{\Delta\tau}$	$f_{\Delta\tau}$

2. Построить графики этих функций и гистограмму отказов (рекомендуется выполнить в Microsoft Office Excel);
3. Найти среднюю наработку до первого отказа;
4. Определить графически границы периодов приработки, нормальной эксплуатации и усталостного износа изделий;
5. Определить среднюю наработку до первого отказа изделия в период нормальной эксплуатации.

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Дайте определение термину «надёжность». Какими показателями и критериями характеризуется надёжность.
2. Напишите выражение для определения следующих количественных характеристик надёжности: вероятности безотказной работы, частоты отказов, интенсивности отказов, средней наработки до отказа.
3. Назовите показатели качества изделия.
4. Какими явлениями, состояниями и событиями характеризуется надёжность?
5. Как классифицируются отказы?
6. Дайте определения понятиям: безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность.
7. Перечислите количественные показатели надёжности.
8. Выведите основное уравнение надёжности.
9. Как определяется время нормальной эксплуатации изделия?
10. Каким показателем характеризуются восстанавливаемые изделия?

Таблица 1.1.

Исходные данные

	ВАРИАНТЫ																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Delta \tau$	$n_{\Delta \tau}$																			
0-500	130	140	140	128	115	120	125	128	113	105	124	129	130	125	117	126	125	139	127	108
500-1000	126	130	135	124	110	100	109	115	99	96	113	122	123	114	104	114	118	122	106	99
1000-1500	103	110	118	100	105	88	87	86	82	85	88	87	86	93	80	83	82	88	84	88
1500-2000	70	65	64	71	72	67	66	65	69	69	69	68	65	63	71	69	68	67	70	73
2000-2500	53	51	50	54	55	52	51	50	53	54	62	61	62	50	59	62	61	60	63	64
2500-3000	48	46	45	49	50	48	47	46	49	50	56	55	53	57	58	56	55	54	52	58
3000-3500	46	44	43	47	48	43	42	41	44	45	51	50	50	52	53	51	50	49	50	53
3500-4000	43	41	40	44	45	40	39	38	41	42	45	44	43	46	47	45	44	43	46	47
4000-4500	41	39	38	42	43	41	40	39	42	43	41	40	39	42	45	41	40	39	42	43
4500-5000	40	38	37	41	42	42	41	40	43	44	37	36	35	38	41	39	38	37	40	41
5000-5500	41	39	38	42	43	49	48	47	50	51	35	34	33	36	39	40	39	38	41	42
5500-6000	42	40	39	43	44	54	53	52	55	56	38	37	36	39	40	42	41	40	43	44
6000-6500	47	45	44	48	49	58	57	56	59	60	45	44	43	46	47	45	44	43	46	47
6500-7000	50	48	47	51	52	62	61	59	63	62	57	56	55	58	59	55	54	53	56	57
7000-7500	58	58	57	57	60	67	66	67	68	67	64	63	72	65	66	62	69	60	63	64
7500-8000	62	66	65	59	67	69	68	71	70	71	75	74	75	76	74	70	72	68	71	72

Лабораторная работа № 2
**Определение вида закона распределения отказов
 графическим методом**

Цель работы: формирование навыков определения закона распределения отказов графическим методом на основе статистических данных испытаний объектов.

Введение

В процессе эксплуатации объект может находиться в работоспособном или неработоспособном состоянии. Время пребывания объекта в этих состояниях является непрерывной случайной величиной.

Универсальной вероятностной характеристикой случайной величины является закон ее распределения.

Для установления вида закона распределения необходимо произвести испытания статистически значимого количества объектов на отказы, в интересующих нас условиях эксплуатации.

Если известен вид закона и его параметры, то легко определить любую, количественную характеристику надежности.

Наиболее распространенными законами распределения отказов изделий являются:

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| - экспоненциальный; | - нормальный; |
| - логарифмический; | - логарифмически-нормальный; |
| - Вейбулла; | - Рэлея и др. |

Экспоненциальный закон распределения отказов

$$P(\tau) = e^{-\int_0^{\tau_p} \lambda_{\tau} d\tau}$$

Экспоненциальный закон распределения отказов характеризует внезапные отказы в период нормальной эксплуатации изделия:

$\lambda_{\tau} \approx const$

При этом основное уравнение надёжности максимально упрощается:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau}$$

Удобство экспоненциального закона распределения отказов заключается в следующих факторах:

- 1) Интенсивность отказов является единственным параметром распределения.
- 2) Распределение отказов по экспоненциальному закону не зависит от предыдущей наработки изделия до тех пор пока $\lambda_\tau \approx \text{const}$.

Экспоненциальный закон распределения дает простые формулы для расчетов в период нормальной эксплуатации ($\lambda = \omega = \text{const}$) следующих важных параметров:

а) число изделий, которое необходимо иметь в запасе при времени эксплуатации τ :

$$n(\tau) = N_o \lambda \tau;$$

б) количество работоспособных изделий после заданного времени τ :

$$N_\tau = N_o (1 - \lambda \tau).$$

Графически экспоненциальный закон отказов может быть выражен следующим образом (рис. 2.1):

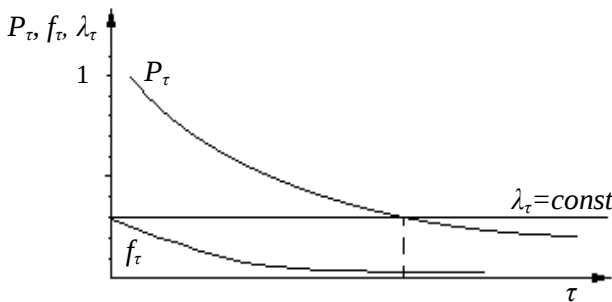


Рис. 2.1. Графическое выражение экспоненциального закона отказов

Расчет надежности и среднего срока службы при последовательном и параллельном соединении элементов

В рамках действия экспоненциального закона можно предложить удобные инженерные зависимости для расчета параметров сложных систем.

а) Последовательное (основное) соединение элементов.

$$P_{\Sigma}(\tau) = \prod_{i=1}^k P_i(\tau) = e^{-\lambda_1 \tau} \cdot e^{-\lambda_2 \tau} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_k \tau} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k) \tau} = e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}$$

Суммарное время работы: $T_{\Sigma} = 1 / \lambda_{\Sigma}$

б) Параллельное соединение двух элементов.

$$P_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^k Q_i = 1 - (1 - e^{-\lambda_1 \tau})(1 - e^{-\lambda_2 \tau}) = e^{-\lambda_1 \tau} + e^{-\lambda_2 \tau} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \tau}$$

Для нахождения суммарного времени работы 2-х параллельно соединенных элементов используем общую формулу, связывающую ВБР со сроком службы:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P_{\Sigma}(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_1 \tau} d\tau + \int_0^{\infty} e^{-\lambda_2 \tau} d\tau - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \tau} d\tau = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2)}$$

Для наиболее распространенного случая дублирования элементов, когда $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_k$ полученное выражение для T_{cp} запишется в виде:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \dots + \frac{1}{k\lambda}$$

Нормальный закон распределения отказов

Для отказов, связанных со старением изделия (третья область эксплуатации) характерно изменение интенсивности отказов во времени, т.е. $\lambda \tau \neq const$.

Принято градацию законов распределения отказов проводить по частоте отказов f_{τ} (рис. 2.2).

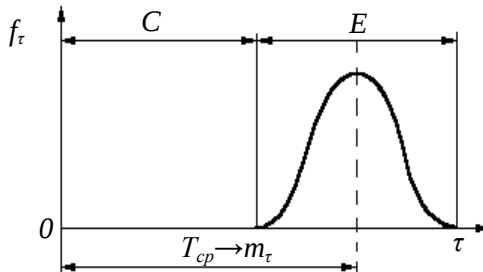


Рис. 2.2. Зависимость частоты отказов от времени

В координатах $f_\tau - \tau$ величина S характеризует сдвиг распределения, а величина E его размах.

T_{cp} – средний (модальный) ресурс службы, он отражает максимальную частоту или вероятность в данном распределении.

Данный закон распределения относится к классу нормального распределения отказов и математически записывается следующим образом:

$$f_\tau = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(\tau-m_\tau)^2}{2S^2}}$$

$$P_\tau = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_\tau^{m_\tau} e^{\frac{-(\tau-m_\tau)^2}{2S^2}} d\tau$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N_0-1} \sum (\tau - m_\tau)^2}$$

где m_τ – математическое ожидание среднего срока службы;

S – среднее квадратичное отклонение.

Величина S показывает, какая ошибка в среднем допускается, если использовать вместо генерального математического ожидания его выборочную оценку.

$$m_\tau = T_{cp} \pm S$$

На рис. 2.3 представлено графическое выражение нормального закона отказов.

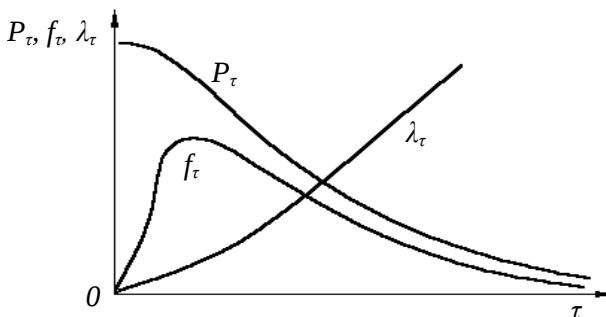


Рис. 2.3. Графическое выражение нормального закона отказов

По широте применения в инженерных расчетах надежности нормальное распределение следует за экспоненциальным.

Закон распределения отказов Вейбулла

В общем случае нормальные и усталостные отказы, описываемые экспоненциальным и нормальным распределением, могут быть обобщены распределением Вейбулла.

Распределение Вейбулла, как и нормальное распределение, определяется двумя независимыми параметрами:

- а) параметр формы $m > 0$;
- б) параметр масштаба $\tau_o > 0$.

Основные характеристики распределения запишутся как:

$$f_{\tau} = \frac{m}{\tau_o} \tau^{(m-1)} e^{\frac{-\tau^m}{\tau_o}}$$

$$P_{\tau} = e^{\frac{-\tau^m}{\tau_o}}, \quad \lambda_{\tau} = \frac{m}{\tau_o} \tau^{(m-1)}.$$

При определенных значениях определяющих параметр распределения m и τ_o распределение Вейбулла переходит в частные случаи: экспоненциальные, нормальные, распределение Рэлея и др.

Существует 3 зоны существования распределения Вейбулла $m < 1$, $m = 1$, $m > 1$ (рис. 2.4).

При $m < 1$ – интенсивность отказов резко убывает.

При $m = 1$, $\lambda_{\tau} = 1/\tau_o$, т.е. распределение Вейбулла переходит в экспоненциальный закон отказов ($\lambda_{\tau} = \text{const}$), а параметр τ_o эквивалентно отражает ресурс работы изделия ($\tau_o = T_{\text{ср}}$) при этом f_{τ} функция убывающая.

При $m > 1$ интенсивность отказов резко возрастает:

- а) при $m < 2$ – кривая выпуклостью вверх;
- б) при $m > 2$ – выпуклостью вниз;

в) при $m = 2$ – интенсивность отказов линейно растет со временем ($\lambda = m\tau$) – этот частный случай распределения Вейбулла называется распределение Рэлея.

Распределение Вейбулла, как наиболее универсальное, подходит для описания практически всех случаев отказов оборудования.

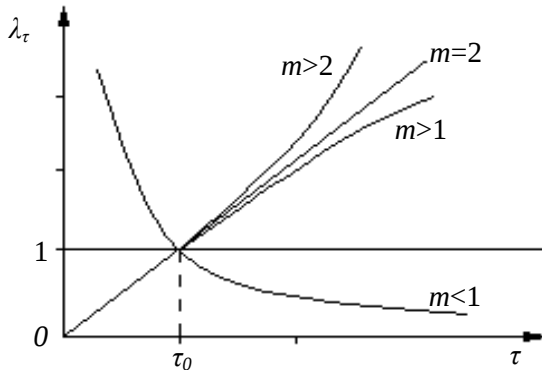


Рис. 2.4. Графическое выражение закона отказов Вейбулла

Выполнение работы

При выявлении закона распределения отказов целесообразно соблюдать следующий порядок работы:

- обработка опытных данных;
- построение графиков расчетной вероятности безотказной работы от параметра наработки в различных типах координат;
- проверка допустимости предполагаемого закона распределения отказов с использованием критерия согласия (например, критерия Колмогорова).

Операция подготовки опытных данных включает в себя:

- выборку исходных результатов из отчетных документов или протоколов испытаний (табл. 2.2);
- составление вариационного ряда данных;
- заполнение таблицы отказов.

При составлении вариационного ряда, время работы до отказа (x_i) записывается в порядке возрастания. По исходным данным проводят расчеты, и результаты представляются в следующем виде:

x_i	n_i	H_i	H_i/N	$1-H_i/N$
	$\Sigma n_i = N$			

где x_i – значение члена вариационного ряда (наработка до отказа);

n_i – число наблюдаемых однозначных отказов в течении i -го интервала времени;

Σn_i – общее число отказов ($\Sigma n_i = N$);

H_i – накопленное число отказов;

H_i/N – расчетная вероятность отказов;

$1-H_i/N$ – расчетная ВБР.

Расчетные точки строятся на всех трех координатных сетках. При этом точки не соединяются между собой, а аппроксимируются одной прямой (метод наименьших квадратов). Затем на каждом графике находятся одно-два наибольших отклонения расчетных точек от обобщающей прямой, отклонения измеряются в масштабе оси и обозначаются как D (рис. 2.5). Координатные сетки для различных законов распределения приведены на рис. 2.6-2.8.

Проверка допустимости принятого закона распределения отказов осуществляется по критериям согласия. На основании критерия согласия Колмогорова экспериментальное распределение согласуется с выбранным теоретически, если выполняется условие:

$$D\sqrt{N} \leq 1$$

где D – наибольшее отклонение максимально удаленной расчетной точки от обобщающей прямой;

N – общее количество экспериментальных точек.

Закон отказов соответствует той координатной сетке, где величина критерия согласия будет минимальна.

Исходные данные:

В результате опыта получен следующий вариационный ряд времени работы изделий до отказа (табл. 2.2).

Требуется по исходным данным определить вид закона распределения отказов графическим методом.

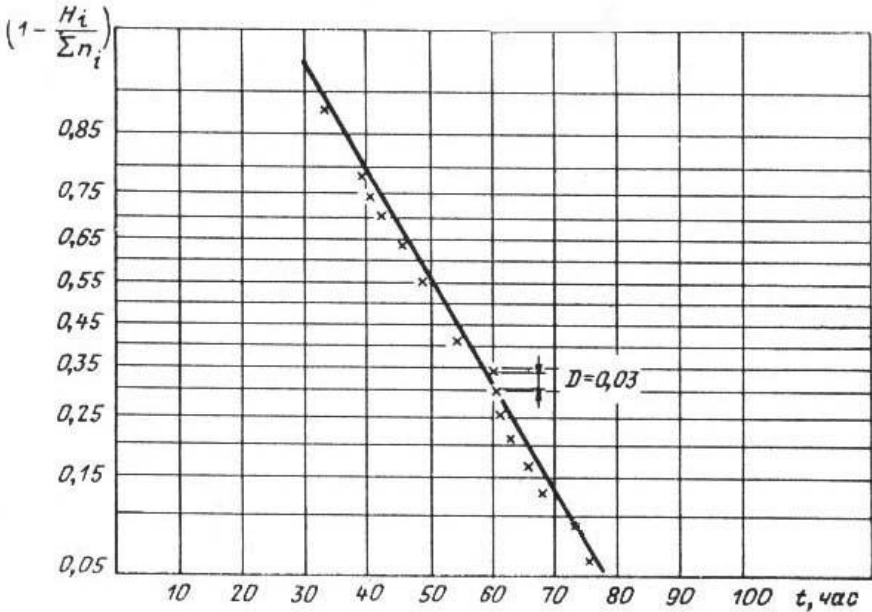


Рис. 2.5. Пример определения закона распределения времени безотказной работы

Таблица исходных данных

Варианты									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время работы изделий до отказа, час.									
2	19	10	12	1	11	115	15	61	19
3	28	20	25	3	34	232	28	64	62
3	28	35	34	3	35	328	29	92	92
5	32	35	34	6	62	368	29	149	102
6	36	35	34	6	63	393	54	150	121
7	36	35	34	7	77	404	61	150	193
8	50	35	34	8	86	421	71	178	200
8	51	35	34	12	124	457	73	179	200
9	71	44	45	12	129	483	76	200	215
9	124	45	45	14	148	511	77	200	229
13	126	45	45	17	178	527	91	250	245
15	138	53	53	18	182	540	102	252	384
16	163	60	61	21	213	544	103	255	385
17	231	60	61	23	235	572	117	255	462
18	246	60	61	24	241	598	145	312	486
20	260	60	61	26	264	605	150	340	538
21	300	70	69	27	275	619	170	341	576
25	302	70	69	28	281	633	196	359	631
28	320	70	69	32	323	660	200	362	680
35	341	75	75	34	340	681	204	378	715
37	380	75	76	37	372	736	245	600	
53	384	85	84	37	372	791	249	602	
56	468	85	84	44	443	942			
69	477	90	92	47	478				
77	603	95	96						
86	807								
98	895								
119	920								

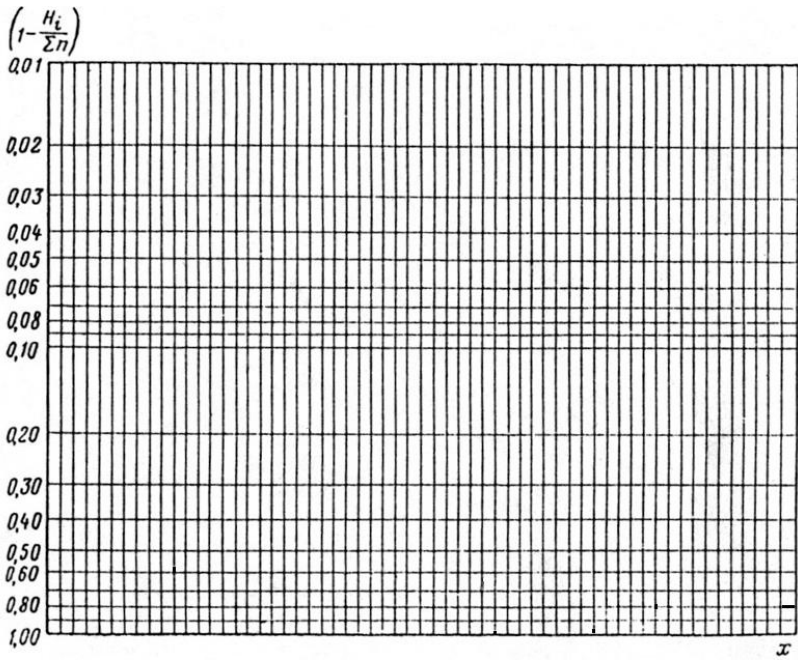


Рис. 2.6. Координатная сетка экспоненциального закона

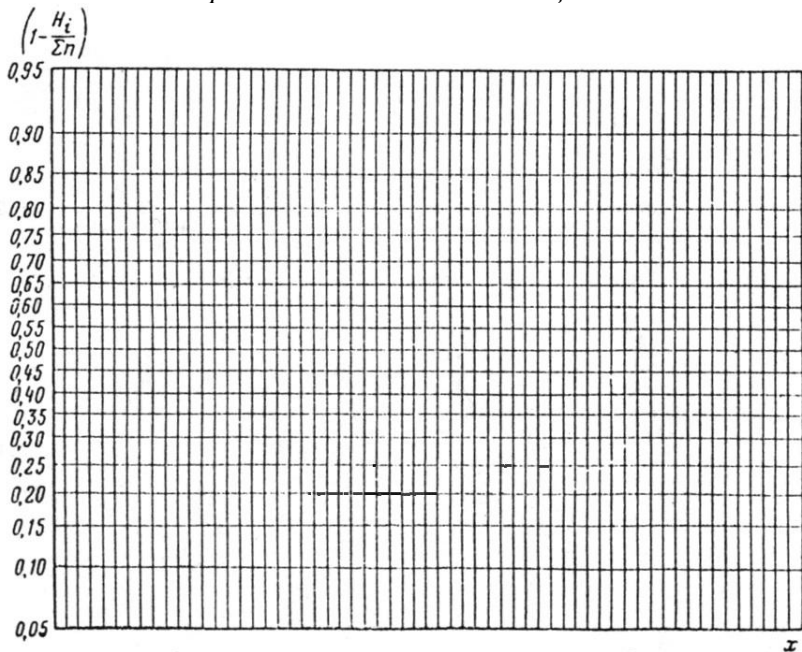


Рис. 2.7. Координатная сетка нормального закона

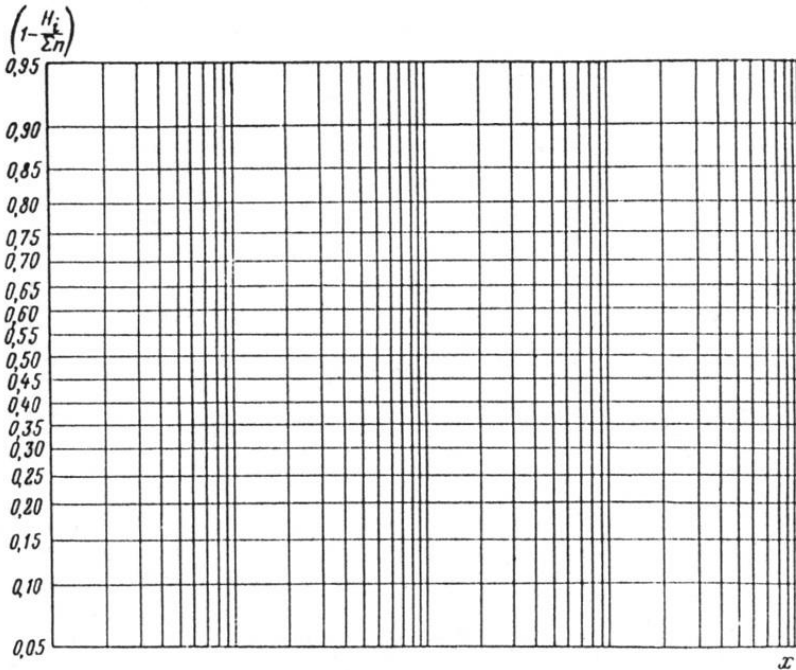


Рис. 2.8. Координатная сетка логарифмического закона

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Основные законы распределения отказов и их характеристики.
2. Особенности экспоненциального закона распределения отказов.
3. Как определить интенсивность отказов графоаналитическим методом?
4. Какими параметрами характеризуется нормальный закон распределения отказов?
5. Назовите особенности закона распределения Вейбулла.
6. По каким зависимостям определяется количество работоспособных изделий и необходимое количество запасных частей?
7. Расскажите о принципах нормирования надёжности сложных узлов.
8. Для чего необходимо дублирование и резервирование элементов?
9. Как определяется вероятность безотказной работы при последовательном и параллельном соединении элементов?
10. Как определяется вероятность безотказной работы последовательно и параллельно соединённых элементов, подчиняющихся экспоненциальному закону?

Лабораторная работа № 3
*Оценка надежности изделий по результатам
 форсированных испытаний*

Цель работы: освоение методики оценки надежности изделий за счет использования результатов форсированных испытаний.

Введение

Экспериментальные методы оценки надежности требуют проведения длительных испытаний значительного числа образцов. Поэтому при оценках и контроле надежности машин актуально использование возможных способов сокращения объема испытаний изделий до наступления отказа.

В данной лабораторной работе используется метод сокращения объёма испытаний до отказа за счет форсирования режима изнашивания. Таким способом допустимо уменьшать длительность испытаний до 10 крат без заметного понижения точности оценки надежности.

Рассмотрим возможности форсирования режимов испытания модельных канатов на износ. Лабораторная установка (рис. 3.1) состоит из закрепленного вращающегося вала, приводимого в движение от электродвигателя с помощью клиноременной передачи. На валу выточено 24 канавки, в которых фиксируются изнашиваемые канаты, нагружаемые растягивающей силой от подвешенных гирь.

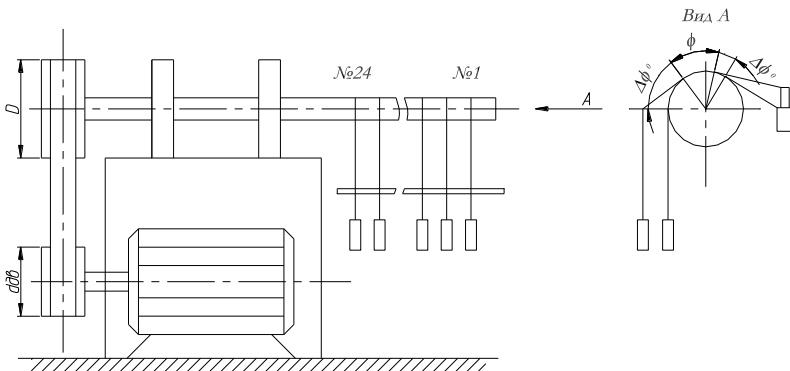


Рис. 3.1. Лабораторная установка

Скорость скольжения каната на валу определяется по формуле:

$$V = \frac{2\pi n_B R_B}{60}, \text{ м/с}$$

где n_B – количество оборотов на валу:

$$n_B = n_{\text{дв}} \cdot d_{\text{дв}}/D$$

$d_{\text{дв}}/D$ – передаточное число клиноременной передачи;

$n_{\text{дв}}$ – число оборотов двигателя, об/мин;

R_B – радиус вала, м.

Выполнение работы

Для определения срока службы канатов при номинальной нагрузке (P_0) необходимо подготовить 4-5 модельных канатов на одну подгруппу и выполнить следующие действия:

Этап 1. Снятие вариационного ряда времени наработки на отказ.

1. Пронумеровать номера канатов (канавок), начиная от края консольного вала от 1 до 24.
2. Приготовить и закрепить по одному грузику (P_0) на канат и включить установку. Зафиксировать время начала изнашивания.
3. В течение работы установки записать время разрыва каждого каната (в секундах).

Этап 2. Проведение форсированного испытания канатов на износ

Интенсифицировать процесс испытаний возможно за счет изменения следующих факторов:

- пути изнашивания;
- скорости изнашивания;
- нагрузки.

а) Длина пути изнашивания регулируется за счет угла охвата канатом (φ) вращающегося вала. Таким образом, можно увеличить время контактирования при прочих равных условия примерно в 1,5 раза.

б) Скорость изнашивания регулируется изменением соотношения диаметров шкивов клиноременной передачи и позволяет ускорить процесс примерно в 2 раза.

в) Самым эффективным способом форсирования испытаний является изменение нагрузки на канат (ускорение до 10 крат и более) через кратное увеличение числа грузиков ($P_{\phi} = nP_0$).

Коэффициент ускорения испытаний определяется следующим образом:

$$K_y = \tau / \tau_{\phi}$$

где τ и τ_{ϕ} – время наработки до отказа в нормальном и форсированном режимах.

Связь между ресурсом τ и напряжениями в детали σ имеет следующий вид:

$$\sigma^m \tau = \sigma_{\phi}^m \tau_{\phi} = \text{const}$$

где m – показатель форсирования испытаний.

Отсюда коэффициент ускорения:

$$K_y = (\sigma_{\phi} / \sigma)^m$$

где σ и σ_{ϕ} – напряжения в номинальном и форсирующем режимах.

При постоянном сечении каната соотношение напряжений и нагрузок эквивалентны:

$$K_y = \tau / \tau_{\phi} = (P_{\phi} / P_0)^m$$

Для определения показателя m производим форсированное испытание, при n -кратном увеличении нагрузки ($P_{\phi} = nP_0$), тогда:

$$\begin{aligned} K_y &= \tau / \tau_{\phi} = n^m, \\ m \lg n &= \lg(\tau / \tau_{\phi}), \\ m &= \lg(\tau / \tau_{\phi}) / \lg n. \end{aligned}$$

Полученный из указанных соотношений показатель m характеризует параметр форсирования (ускорения) испытаний независимо от кратности увеличения нагрузки n , а также позволяет оценивать ожидаемое сокращение времени испытаний (K_y) при заданном значении n при сохранении условий изнашивания.

В заключении необходимо рассчитать K_y при $n = 3, 6, 9$ и 12 .

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Назовите возможные пути сокращения объема испытаний.
2. Чем обуславливается необходимость сокращения объема испытаний?
3. Укажите во сколько раз на практике сокращают длительность испытаний за счет форсирования режима.
4. За счет изменения каких факторов возможно форсирование испытаний?
5. Каким образом регулируется длина пути изнашивания?
6. Каким образом регулируется скорость изнашивания?
7. Какими субъектами осуществляется сбор исходных данных для определения параметров надёжности?
8. Расскажите о методах проведения форсированных испытаний.
9. Перечислите виды ресурсов изделий.
10. Напишите выражение для определения следующих комплексных показателей надёжности: коэффициент технического использования, коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности.
11. Как определяется: коэффициент экстенсивности, коэффициент интенсивности, коэффициент использования аппарата?
12. По каким зависимостям определяется коэффициент ускорения?

Лабораторная работа № 4
Входной контроль однотипных изделий

Цель работы: приобретение практических навыков определения среднего значения контролируемого параметра, определение характера отклонения характеристики резистора от номинала и от среднего значения, а также выявление годных изделий перед сборкой.

Введение

Как правило, в результате экспериментального рассмотрения зависимостей интенсивности и потока отказов от времени, получаются следующие характерные зависимости (рис. 4.1):

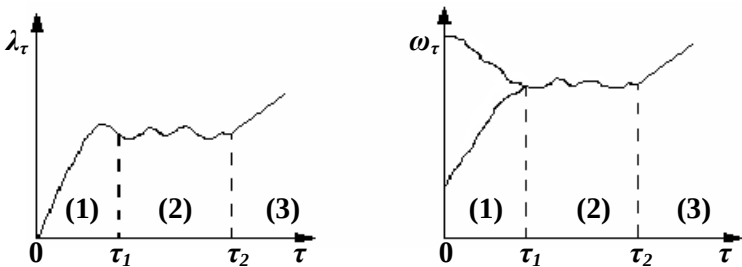


Рис. 4.1. Зависимости интенсивности и потока отказов от времени

Характеристика интенсивности или потока отказов по координатам наработки или времени работы имеет три качественно отличные области:

- (1) $0-\tau_1$; (2) $\tau_1-\tau_2$; (3) $\tau > \tau_2$

Эти области соответствуют трем качественно отличным режимам эксплуатации изделия:

- для **первой области** (область приработочных износов) характерны отказы в следствии:

- а) дефектов материалов;
- б) производственных дефектов при изготовлении;
- в) естественных разбросов шероховатостей, зазоров и т.п.

Для предотвращения отказов в первой области проводят предварительный отсев деталей перед сборкой на выборочных или сплошных испытаниях.

Условия входного контроля включаются в технические условия (ТУ) на изготовление и сборку изделия. В результате осуществляется отсев заведомо не надежных деталей, что уменьшает количество отказов в период приработки.

- **вторая область** характеризуется случайными отказами, связанными с неблагоприятным сочетанием и наложением друг на друга различных факторов риска.

В страховом деле аналог – несчастные случаи со здоровыми людьми.

В этой области очень хорошо действуют статистические законы отказов. Для большинства изделий, область нормальной эксплуатации характеризуется постоянством параметров интенсивности отказов (λ_t , ω_t). Задача инженера максимально расширить область (2) по координатам наработки.

- **третья область** с возрастанием интенсивности отказов называется областью старения (область катастрофических отказов). Здесь возрастание параметров λ или ω вызывается естественными процессами накопления дефектов. Например: износ поверхностей, коррозия рабочих поверхностей, появление и развитие усталостных трещин и т.п.

Задачи инженера максимально точно предсказать наступление третьего этапа жизненного цикла изделия. В идеале целесообразно устанавливать срок службы в районе границы τ_2 .

Выполнение работы

Получить у преподавателя партию резисторов в количестве N_0 .

На лабораторной установке (рис. 4.2) замерить индивидуальные характеристики резисторов R .



Рис. 4.2. Лабораторная установка

Определить среднее значение сопротивления:

$$R_{cp} = \frac{\sum R}{N_0}$$

Определить число интервалов по зависимости:

$$K = 1 + 2,31 \lg N_0$$

Вычислить ширину интервалов:

$$h = \frac{R_{max} - R_{min}}{K}$$

Определить нижнюю границу первого интервала.

$$R_0 = R_{MIN} - \frac{h}{2}$$

Далее вычислить границы всех интервалов:

$$R_1 = R_0 + h, R_2 = R_1 + h, \text{ и т.д. до } R_{max}$$

Полученные значения представить в следующем виде:

№ интервала	Границы интервала	Количество значений

По результатам вычислений необходимо построить гистограмму распределения значений по интервалам и определить количество годных изделий $N = R_{ном} \pm 3\%$, после чего определить вероятность безотказной работы и сделать выводы о качестве исследованной партии резисторов.

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Для каких целей проводится входной контроль изделий?
2. На каких уровнях в физике отказов рассматриваются явления, приводящие к отказам?
3. Как определяется время нормальной эксплуатации изделия?
4. Какие процессы называются необратимыми? Дайте им характеристику.
5. Какие процессы называются обратимыми? Дайте им характеристику.
6. Как влияют внутренние напряжения на работоспособность изделий?
7. Расскажите о геометрических параметрах поверхностного слоя и об эффекте Ребиндера.
8. Что такое трибологические отказы?
9. Напишите выражение для определения скорости и интенсивности изнашивания.
10. Методы определения износа.
11. Классификации видов износа.
12. Недостатки гостовской классификации видов износа.

Лабораторная работа № 5
***Контроль качества сварных соединений внешним осмотром
и измерением***

Цель работы: формирование навыков изучения качества сварных соединений внешним осмотром и измерением и выявления дефектов.

Введение

Контроль качества сварных соединений должен производиться методами и в последовательности, указанными ниже:

- а) внешним осмотром и измерениями;
- б) электрозвуковой дефектоскопией, просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами, или этими методами в сочетании;
- в) механическими испытаниями;
- г) металлографическим исследованием;
- д) гидравлическим испытанием;
- е) другими методами (замерами твердости, травлением, цветной дефектоскопией, испытанием на межкристаллитную коррозию и др.), если они предусмотрены ТУ.

В данной лабораторной работе изучается первый метод контроля сварных соединений: внешний осмотр и измерение. Этим методом выявляются только наружные дефекты сварки.

Важным условием, влияющим на надежность и безопасность сварных изделий, является обеспечение их равнопрочности при изготовлении, монтаже или ремонте оборудования химических производств, что достигается выполнением плотных однородных сварных швов с удовлетворительными механическими свойствами. Дефекты в сварных соединениях либо уменьшают расчетное сечение шва, либо служат концентраторами напряжений. Чаше влияние дефектов проявляется в одновременном действии указанных факторов, снижающих работоспособность сварных соединений и, следовательно, изделия в целом.

В сварных соединениях дефекты могут появляться начиная с заготовок и сборки свариваемых элементов и кончая потерей размеров (короблением) готовой конструкции.

Дефекты сварных швов являются следствием неправильного выбора или нарушения технологического процесса изготовления сварной конструкции, применения некачественных сварочных материалов и низкой квалификации сварщика.

Дефекты разделяются на внешние и внутренние. К внешним дефектам относятся: нарушение размеров и формы шва, непровар, подрез зоны сплавления, поверхностное окисление, прожог, наплыв, поверхностные поры, незаваренные кратеры и трещины продольные и поперечные. К внутренним дефектам относятся: внутренние поры, неметаллические включения, непровар и микротрещины.

Нарушение размеров и формы шва выражается в неполномерности ширины и высоты шва, в чрезмерном усилении и резких переходах от основного металла к наплавленному. Эти дефекты при ручной сварке являются результатом низкой квалификации сварщика, плохой подготовки свариваемых кромок, неправильного выбора сварочного тока, низкого качества сборки под сварку. Дефекты формы шва могут быть и следствием колебаний напряжения в сети. При автоматической сварке нарушения формы и размеров шва являются следствием неправильной разделки шва или нарушения режима в процессе сварки (скорости сварки, скорости подачи электродной проволоки, сварочного тока).

Непровар – местное несплавление свариваемых кромок основного и наплавленного металлов - является следствием низкой квалификации сварщика, некачественной подготовки свариваемых кромок (малый угол скоса, отсутствие зазора, большое притупление), смещения электрода к одной из кромок, быстрого перемещения электрода по шву.

Подрез – узкое углубление в основном металле вдоль края сварного шва – образуется при сварке большим током или удлиненной ду-

гой, при завышенной мощности горелки, неправильном положении электрода или горелки и присадочного прутка.

Поверхностное окисление – окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причинами являются сильно окисляющая среда, большая длина дуги, чрезмерно большая мощность сварочной горелки или слишком большой сварочный ток, замедленное перемещение электрода или горелки вдоль шва.

Прожог – сквозное отверстие в сварном шве. Основными причинами прожога являются большой сварочный ток, завышенная мощность сварочной горелки, малая толщина основного металла, малое притупление свариваемых кромок и не равномерный зазор между ними по длине.

Наплыв – результат натекания металла шва на непрогретую поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним. Такие дефекты могут быть при низкой квалификации сварщика, некачественных электродах и несоответствии скорости сварки и сварочного тока разделке шва.

Поверхностные и внутренние поры возникают вследствие попадания в металл шва газов (водород, азот, углекислый газ и др.), образовавшихся при сварке. Водород образуется из влаги, масла и компонентов покрытия электродов. Азот в металл шва попадает из атмосферного воздуха при недостаточно качественной защите расплавленного металла шва. Оксид углерода образуется в процессе сварки стали при выгорании углерода, содержащегося в металле. Если свариваемая сталь и электроды имеют повышенное содержание углерода, то при недостатке в сварочной ванне раскислителей и при большой скорости сварки оксид углерода не успевает выделиться и остается в металле шва. Таким образом, пористость является результатом плохой подготовки свариваемых кромок (загрязненность, ржавчина, замасленность), применения электродов с сырым покрытием, влажного флюса, недостатка раскислителей, больших скоростей сварки.

Неметаллические включения образуются при сварке малым сварочным током, применении некачественных электродов, сварочной проволоки, флюса, загрязненных кромок и плохой очистке шва от шлака при многослойной сварке. При неправильно выбранном режиме сварки шлаки и оксиды не успевают всплыть на поверхность и остаются в металле шва в виде неметаллических включений.

Трещины наружные и внутренние (микротрещины) являются опасными и недопустимыми дефектами сварных швов. Они образуются вследствие напряжений, возникающих в металле от его неравномерного нагрева, охлаждения и усадки. Высокоуглеродистые и легированные стали после сварки при охлаждении закаляются, в результате чего могут образоваться трещины. Причиной возникновения трещин служит также повышенное содержание в стали вредных примесей (серы и фосфора).

Методы устранения дефектов сварных швов

Неполномерность швов устраняется наплавкой дополнительного слоя металла. При этом наплавляемую поверхность необходимо тщательно очистить до металлического блеска абразивным инструментом или металлической щеткой. Чрезмерное усиление шва устраняют с помощью абразивного инструмента или пневматического зубила.

Непровары, кратеры, поверхностные и внутренние поры и неметаллические включения устраняют вырубкой пневматическим зубилом или расчисткой абразивным инструментом всего дефектного участка с последующей заваркой. Часто применяют выплавку дефектного участка с помощью поверхностной кислородной или воздушно-дуговой резки.

Подрезы заваривают тонкими валиковыми швами. Наплывы устраняют обработкой абразивным инструментом или с помощью пневматического зубила. Наружные трещины устраняют разделкой и последующей заваркой. Для предупреждения распространения трещины по концам ее засверливают отверстия. Разделку трещины выполняют зубилом или резакром. Кромки разделки зачищают от шлака, брызг метал-

ла, окалины и заваривают. Швы с внутренними трещинами вырубают и заваривают заново. При наличии сетки трещин дефектный участок вырезают и сваркой накладывают заплату.

Внешнему осмотру и измерениям подлежат все сварные изделия для выявления в них следующих дефектов:

- отступлений от размеров, указанных в чертежах и ТУ;
- смещения кромок стыкуемых элементов;
- неравномерности высоты и ширины сварных швов;
- наплывов и подрезов в местах перехода от шва к основному металлу, резких переходов от основного металла к наплавленному;
- трещин, выходящих на поверхность шва или расположенных в зоне термического влияния;
- непроваров, незаваренных кратеров, прожогов, шлаковых включений и пористости на наружной поверхности шва;
- осевых смещений трубчатых элементов;
- изломов оси цилиндрических элементов;
- сужений внутреннего поперечного сечения труб;
- излишне усиленных или ослабленных швов.

Перед внешним осмотром и измерениями сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла должны быть зачищены от шлака и других загрязнений, затрудняющих осмотр. Осмотр сварных соединений производится по всей длине с двух сторон в доступных местах.

Внешний осмотр и измерения производят невооруженным глазом и с применением лупы с увеличением до 10-кратного, при этом необходимо применение переносного источника света, измерительного инструмента, шаблонов для контроля швов.

В таблице 5.1 представлены основные дефекты сварных соединений.

Таблица 5.1.

Основные дефекты сварных соединений

Схематическое изображение дефекта	Наименование дефекта
	Пора сферическая
	Пора канальная
	Несплавление
	Непровар в корне одностороннего шва
	Непровар двустороннего шва
	Трещина продольная
	Трещина радиальная
	Неравномерность шва
	Подрез

Выполнение работы

Выполняется эскиз детали (одна, две проекции), на котором отмечаются все характерные особенности сварного соединения и обнаруженные дефекты.

Производится описание замеченных дефектов сварки, включая наименование.

Определяются причины и условия, способствующие возникновению дефектов.

Формулируются рекомендации по исправлению дефектов.

Результаты представить в следующем виде:

№	Наименование дефекта	Причины возникновения	Методы устранения

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Для чего производится контроль сварных соединений внешним осмотром и измерением?
2. Какие дефекты выявляются при внешнем осмотре сварных соединений?
3. Назовите причины возникновения дефектов, обнаруживаемых при внешнем осмотре.
4. Как устраняются дефекты сварных соединений?
5. Характеристика видов изнашивания по классификации Б. Костецкого.
6. Как влияют скорость контактирования, контактное давление и температура на скорость износа?
7. Как определить время приработки взаимодействующих поверхностей?
8. Прогнозирование срока службы пар трения по критерию износа.
9. Расскажите о эрозионном и коррозионном разрушении поверхностей.
10. В чём заключается протекторная защита?

Лабораторная работа № 6
Выявление дефектов методом цветной дефектоскопии

Цель работы: приобретение навыков выявления дефектов сварных соединений методом цветной дефектоскопии.

Введение

Метод цветной дефектоскопии относится к капиллярным методам неразрушающего контроля и применяется для обнаружения невидимых поверхностных дефектов типа трещин и пористости на деталях, изготовленных из металлических и неметаллических материалов: черных и цветных металлов, пластмасс, а также в сварных швах изделий из этих материалов. Сущность метода заключается в следующем.

На контролируемую поверхность детали наносят слой подкрашенной жидкости. Под действием капиллярных сил краска проникает в поверхностные дефекты. Через некоторое время жидкость удаляют с поверхности изделия, при этом часть ее остается в дефектах. Под действием адсорбирующего покрытия, тонкий слой которого наносят на деталь, подкрашенная жидкость из дефектов выступает на поверхность, благодаря чему их обнаруживают.

Этот метод позволяет выявить дефекты при дневном свете невооруженным глазом. Это дает возможность применять метод и в полевых монтажных условиях для контроля деталей машин и аппаратов, в том числе и сложных конфигураций.

Подготовка поверхностей деталей.

Исходные поверхности деталей оказывают большое влияние на результаты контроля, поэтому к ним предъявляются определенные требования.

Все поверхностные загрязнения: следы масла, консистентной смазки, нагара, краски, продуктов коррозии, должны быть удалены. Наиболее приемлемый способ очистки от загрязнений - обезжиривание в порах растворителем. Если контроль деталей производят после электрохимической или химической обработки, то следует иметь в виду,

что после промывки деталей водой в конце обработки полости дефектов оказываются заполненными водой, что ведет к потере выявляемости дефектов при контроле. В этих случаях для испарения жидких заполнителей полостей дефектов перед контролем необходимо прокалить детали при максимально допустимой температуре.

При выборе механической обработки перед проведением контроля следует иметь в виду, что очистка металлическими щетками, наждачным камнем, зачистка шабером, дробеструйная и пескоструйная обработка способствуют заволакиванию устьев дефектов, особенно в мягких материалах. Заволакивание дефектов препятствует проникновению в них индикаторной жидкости, что снижает выявляемость дефектов при контроле.

Сильно снижает эффективность контроля наличие окислов металлов и некоторых видов красок, не удаленных с поверхности.

Заполнение полостей дефектов индикаторной жидкостью производится капиллярным, вакуумным и компрессионным способами.

Капиллярный способ заполнения полостей дефектов заключается или в непосредственном погружении соответствующим образом подготовленной детали в емкость с индикаторной жидкостью, или смачиванием детали индикаторной жидкостью.

Вакуумный способ повышает чувствительность капиллярного метода контроля за счет более полного заполнения полостей дефектов индикаторной жидкостью после выдержки деталей под вакуумом.

Компрессионный способ заключается в пропитке деталей индикаторным раствором под давлением. Реализация этого способа более проста, чем вакуумного. Повышение давления на несколько атмосфер во время пропитки улучшает выявляемость дефектов.

Очистку поверхностей деталей от индикаторных жидкостей с целью удаления фона при контроле производят механическими, эмульсирующими растворяющими и нейтрализующими способами. При механическом способе индикаторную жидкость с поверхности удаляют,

протирая ее ветошью. При этом жидкость удаляется с поверхности детали и не затрагивается в капиллярных полостях. Применение эмульсий из поверхностно-активных веществ облегчает очистку поверхностей от индикаторных жидкостей.

Проявление дефектов наиболее часто производят нанесением на поверхность сорбента с последующей выдержкой в течение заданного времени.

Выполнение работы

Процесс контроля цветным методом состоит из следующих операций: подготовка поверхности детали к контролю, нанесения краски на поверхность детали, удаление краски, нанесение белого покрытия, осмотра.

Перед контролем поверхность изделия очищают растворителем. Затем с помощью пульверизатора или кисти наносят слой пенетранта. Пенетрант наносят 3-4 раза, чтобы вся контролируемая поверхность была обильно покрыта им. В процессе покрытия, продолжающегося обычно 8-10 мин, жидкость под действием капиллярных сил проникает в дефекты изделия. Время проникновения жидкости в дефекты зависит от ее текучести и характера и формы дефектов.

Состав пенетранта: керосин – 80%, трансформаторное масло – 10%, скипидар – 10%, краска судан-3 или судан-4 – 10 г. на литр жидкости.

После покрытия поверхности изделия пенетрантом и выдержки ее промывают 5%-ным водным раствором кальцинированной соды и вытирают насухо. Детали со шлифованной поверхностью тщательно протирают ветошью, слегка смоченной бензином, без предварительной промывки.

На сухую поверхность с помощью пульверизатора или кисти наносят тонкий слой проявителя пенетранта.

Состав проявителя: 400-500 г. каолина или 300-400 г. мела на 1 л. воды (размер частиц мела не более 4-6 мкм).

Оформление результатов контроля.

Результаты проверки цветным методом записывают в протоколе, сделав эскиз детали. В протоколе в случае обнаружения дефектов дается их подробное описание (характер, количество и протяженность). Чтобы быстрее выделить краску из дефектов, проявитель просушивают теплым воздухом. Выделившая жидкость окрашивает покрытие в красный цвет. На белом фоне конфигурация дефектов становится отчетливо видимой. Трещины и волосовины обычно выявляются в виде красных линий, мелкие поры - отдельными красными точками, а локализованная пористость - в виде красных пятен на белом фоне покрытия.

После просушки поверхность осматривают дважды: первый раз через 15-20 мин., второй через 30-35 мин. Необходимость двойного осмотра вызвана растеканием краски на поверхности изделия, вследствие чего расшифровка характера дефекта затрудняется. Первый осмотр позволяет выявить и установить действительную конфигурацию крупных дефектов типа трещин. Вторичный осмотр необходим для выявления более мелких дефектов. За этот промежуток времени жидкость успевает выделиться практически из всех дефектов.

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. Для чего применяется метод цветной дефектоскопии?
2. Как проводится выявление дефектов этим методом?
3. Какие бывают виды локальной коррозии?
4. Расскажите о факторах, ускоряющих коррозию.
5. Усталостные изломы деталей и их характеристика. Применяемые методы для уменьшения опасности усталостных изломов.
6. Напишите выражения для определения амплитуды и среднего напряжения при циклическом нагружении.
7. Напишите выражения для определения коэффициента асимметрии и пластичности материала при циклическом нагружении.
8. Связь между пределом усталости и числом циклов нагружения.
9. Что такое адсорбционная усталость?

Лабораторная работа № 7
***Контроль качества сварных соединений
радиографическим методом***

Цель работы: приобретение навыков исследования качества сварных соединений радиографическим методом.

В лабораторной работе изучается:

- вид контроля - радиационный;
- метод контроля - радиографический по ГОСТ 7512;
- выявляемые дефекты - внутренние дефекты, а также дефекты формы и поверхности шва, не допустимые для обнаружения при техническом осмотре.

Характеристика метода.

Радиографическая дефектоскопия относится к неразрушающим методам контроля сварных соединений. Для осуществления метода используется рентгеновское и γ -излучения.

Одним из свойств рентгеновского и γ -излучения является способность их проходить через многие тела, непрозрачные для видимого света. Это свойство положено в основу рентгеновской и γ -дефектоскопии, сущность которой заключается в измерении интенсивности рентгеновского или γ -излучения после прохождения его через изделие.

Регистрация рентгеновских или γ -лучей, прошедших через вещество, осуществляется одним из следующих методов: фотографическим (регистрацией излучения на рентгеновскую плёнку); флюорографическим (наблюдением изображения на светящемся экране); рентгенотелевизионным (наблюдением изображения на экране телевизора); ионизационным (регистрацией интенсивности измерения, прошедшего через исследуемый объект с помощью ионизационных камер, газоразрядных и сцинтилляционных камер) и др.

В промышленной практике наиболее распространенным методом дефектоскопии является фотографический метод. Схема рентгеновского контроля изделий фотографическим методом приведена на рис. 7.1.

При γ -контроле вместо рентгеновской трубки используется радиоактивный источник излучения (например, изотоп кобальта), заключенный в свинцовую ампулу.

Под интенсивностью излучения понимается количественная и качественная характеристика, определяемая отношением потока излучения к площади сечения, через которое поток проходит. Интенсивность рентгеновских или γ -лучей за объектом просвечивания определяется интенсивностью падающего (первичного) пучка лучей и долей излучения, поглощенного или рассеянного объектом.

При наличии в контролируемом изделии неоднородностей интенсивность рентгеновских или γ -лучей, прошедших через изделие, будет неодинакова. Прошедшие через изделие рентгеновские лучи регистрируются на рентгеновскую пленку, после проявления пленки получается видимое изображение скрытых неоднородностей в контролируемом изделии.

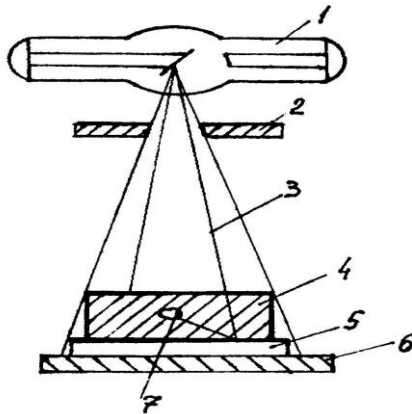


Рис. 7.1. Схема рентгеновского контроля изделий фотографическим методом.

1 – рентгеновская трубка; 2 – свинцовая диафрагма; 3 – рентгеновские лучи; 4 – просвечиваемый объект; 5 – рентгеновская пленка; 6 – пластина из листового свинца; 7 – дефект.

Участки снимка с большим потемнением соответствуют большей интенсивности излучения за объектом, и свидетельствуют о наличии в контролируемом изделии включений с плотностью, меньшей плотности его материала (поры, шлаковые включения, трещины и др.).

Время, необходимое для получения рентгеновского снимка, зависит от автоматизации работ и изменяется от 30 минут до нескольких часов, скорость радиографического контроля обычно не превышает 2 м/ч.

При просвечивании определяют следующие дефекты в шве сварного соединения: трещины, поры, непровары, металлические и неметаллические включения, а также недоступные для внешнего осмотра наружные.

Радиографическим контролем не обеспечивается выявление: любых дефектов, если их протяженность в направлении излучения меньше удвоенной чувствительности контроля (мм), если изображения дефектов на снимке совпадают с другими изображениями затрудняющими расшифровку снимков (изображения посторонних деталей, острых углов изделия, резких перепадов толщин свариваемых элементов, непроваров и др.).

Пред просвечиванием шов должен быть очищен от шлака, брызг, окалины и других загрязнений и подвергнут внешнему осмотру. Просвечивание производится только при отсутствии недопустимых дефектов по внешнему осмотру.

Исходя из протяженности сварного соединения швы перед просвечиванием размечают на участки. Участки маркируют условными обозначениями с помощью маркировочных знаков, изготовленных из свинца.

Не всегда на пленке могут быть обнаружены все дефекты, находящиеся внутри просвечиваемого объекта. Существует определённый минимально выявляемый дефект, который характеризует предельную чувствительность метода.

В радиографии используют два вида чувствительности.

Абсолютная – определяется размером минимально выявляемого дефекта или элемента эталона чувствительности в направлении просвечивания.

Относительная – характеризуется отношением минимально выявляемого дефекта в направлении просвечивания к толщине контролируемого соединения и выражается в процентах.

Для оценки чувствительности радиографического контроля применяют канавочные, пластинчатые или проволочные эталоны чувствительности. Эталоны чувствительности устанавливают со стороны, обращенной к источнику излучения, на участках сварного соединения.

Проволочные эталоны устанавливают непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва, канавочные и пластинчатые – рядом со швом с направлением эталона вдоль шва. На рис. 7.2 показан канавочный эталон чувствительности.

Маркировка эталона состоит из обозначения материала (первая цифра) и его номера (последующие цифры).

Стандарт допускает выполнять маркировку канавочных эталонов вырезами и отверстиями, как это показано на рис. 7.3.

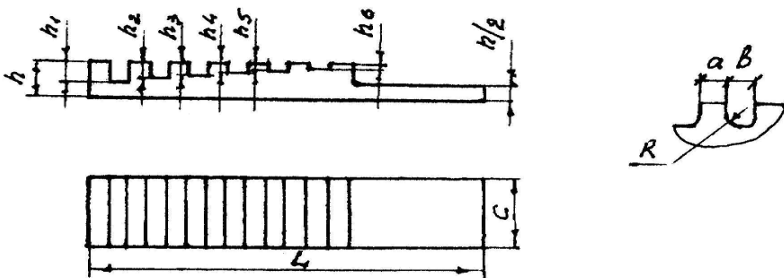


Рис. 7.2. Канавочный эталон чувствительности

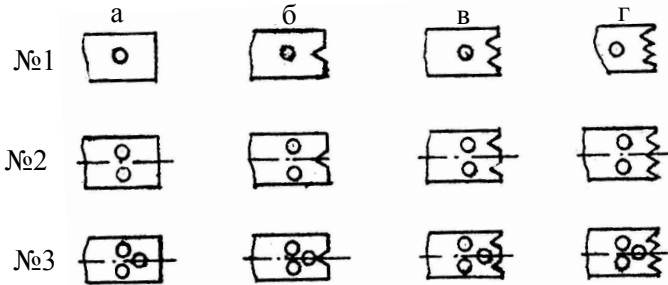


Рис. 7.3. Маркировка канавочных эталонов вырезами и отверстиями для сплавов на основе железа /а/, магния и алюминия /б/, титана /в/, меди /г/.

Эталон чувствительности изготавливают из металла или сплава, близкого по химическому составу контролируемого материала.

Толщина эталона в месте маркировки должна быть равна h .

В таблице 7.1 приведены размеры канавочных эталонов.

Таблица 7.1.

Размеры канавочных эталонов чувствительности, мм (ГОСТ 7512-75)

№ эталона	h1	h2	h3	h4	h5	h6	m	R _{max}	a	b	c	h	L
1	0,60	0,5	0,40	0,3	0,2	0,1	-0,02	0,1	2,0	0,5	10	2	30
2	1,75	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5	-0,05	0,2	2,5	1,5	12	4	45
3	4,00	3,5	3,00	2,5	2,0	1,5	-0,1	0,3	3,0	3,0	14	6	60

m – предельное отклонение глубины канавки.

При использовании канавочных эталонов чувствительность радиографического контроля K определяют в мм или в %:

$$K = h_{min}, \text{ мм}$$

$$K = \frac{h_{min}}{S + h}, \text{ \%},$$

где S – контролируемая толщина металла в месте установки эталона, мм;

h_{min} – глубина видимой на снимке наименьшей канавки эталона, мм.

Выполнение работы

Получив снимки, необходимо произвести их расшифровку. Расшифровка производится путем просмотра снимков на просвет.

Снимок, используемый для расшифровки сварного соединения, должен удовлетворять требованиям: не иметь пятен, царапин, загрязнений, на нем должны быть видны изображения контролируемого участка сварного соединения, эталона чувствительности и маркировочных знаков.

Зарисовываются снимки в масштабе 1:1 (обводится контур, показывается шов, все дефекты, эталон чувствительности, маркировочные знаки).

Выполняется описание дефектов сварки.

При измерении размеров дефектов до 1,5 мм следует применять измерительную лупу, выше 1,5 мм прозрачную измерительную линейку.

Формулируются рекомендации по исправлению дефектов.

При отсутствии изображений дефектов на снимке в отчете записывается: дефектов не обнаружено.

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Какие дефекты сварных соединений выявляются при радиационном контроле?
2. Как осуществляется регистрация рентгеновских или γ -лучей.
3. Как определяют чувствительность контроля?
4. Содержание организационно-технологических и конструктивных методов повышения надёжности.
5. Технологические методы повышения надёжности. Виды защитных покрытий, их преимущества и недостатки.
6. Процесс нанесения лакокрасочных, полимерных покрытий и чистых металлов.
7. Сплавы и псевдосплавы, напыление керамик, нанесение стеклоэмалевых покрытий.
8. Методы пластического деформирования.
9. Химико-термическая обработка поверхности.

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева»

Новомосковский институт

Кафедра «Оборудование химических производств»

Лабораторная работа № 1 по курсу ОЭНТОО

Оценка надёжности изделий. Определение количественных
характеристик надёжности.

Студент:

Группа:

Преподаватель:

Выполнение:

Защита:

Литература

1. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надёжность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Химия, КолосС, 2006. 359 с.
2. Проников А.С. Надёжность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
3. Решетов Д.Н, Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988. 238 с.
4. Решетов Д.Н. Работоспособность и надёжность деталей машин. М.: Высшая школа, 1974. 206 с.
5. Основы эксплуатационной надёжности оборудования химических производств: учебное пособие / Н.Ф. Лобанов, М.Н. Каменский. Новомосковск: Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 72 с.
6. ГОСТ 27.002. Надежность в технике. Термины и определения.
7. ГОСТ 27.003. Надежность в технике. Выбор и нормирование показателей надежности. Основные положения.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Лабораторный практикум

Составители:

ЛОБАНОВ Николай Федорович
КАМЕНСКИЙ Михаил Николаевич

Редактор Пряхина Н.А.

Подписано в печать г. Формат 60×84¹/₁₆

Бумага «Снегурочка». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 3,03. Уч. изд. л. 1,39.

Тираж 50 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева»

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9

Адрес института: 301650, Новомосковск, Тульская обл., ул. Дружбы, 8